

粒子法を用いた 2 次元流体潤滑解析における油膜破断

Oil Film Rapture in 2D Hydrodynamic Lubrication Analysis by SPH

海洋大・工（正）*田中 健太郎

Kentaro Tanaka*

*Tokyo University of Marine Science and Technology

1. はじめに

貧潤滑条件で潤滑面が油で完全に満たされていない場合や、キャビテーションにより出口側に気相が引き込まれている場合には、気液界面の位置や形状が境界条件となり油膜圧力が発達する。このような気液界面の大変形を伴う流体運動を数値解析するのが得意とされている SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)法を、流体潤滑問題に適用することを試みている。これまでの報告^{1,4)}により、CSF モデルに基づく表面張力の計算方法を検証し、孤立液滴のラプラス圧力と表面張力振動が精度良く計算できていることを確認した上で、SPH 法による流体潤滑の計算結果と、既存の数値計算 (FEM) および実験結果との比較を行っている。

本報告では、最小油膜厚さ固定の流体潤滑における油量の影響について報告する。特に油量が少ない場合に、油膜が破断し、最小隙間に油膜が維持できなくなるについて報告する。

2. 計算モデル、計算条件

SPH 法では、Navier-Stokes の式に基づいて流体を表す計算粒子の時間発展を追跡する。圧力勾配、粘性抵抗に加えて表面張力と重力による作用を考慮した計算を行うことができる。計算モデルと計算条件は、Bruyere らが有限要素法を用いて流体潤滑の数値解析⁵⁾を行った際に、その検証として Floberg の実験⁶⁾との比較に用いたモデル・条件を踏襲している。図 1 に示す通りの典型的な平面と円筒面間の流体潤滑である。平面上方に配置した円筒を平面に近づけてスクイーズし、最小隙間 $400\mu\text{m}$ に達したところで固定する。その後、平面を左から右に動かしてせん断する。計算領域の左右両端は周期境界条件が課してあり、右端から流出する油は左端から再流入する。平面、円筒面と流体の境界は滑りなし条件である。潤滑油に働く表面張力を計算する際に、表面の曲率を計算するが、この際に、潤滑油粒子と固体表面粒子を区別せず同種の粒子とする。つまり完全濡れである。潤滑油は、密度 850kg/m^3 、粘度 $0.114\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、表面張力 0.032N/m である。最小油膜厚さ $400\mu\text{m}$ の隙間に 6 個の SPH 計算粒子が挟まるように粒子の大きさを決めている。

Fig.1 内に示すように平面に潤滑油を塗布して計算を行うが、平面全体を $1200\mu\text{m}, 400\mu\text{m}$ の膜厚で塗布する場合と、平面の一部にのみ、計算領域の全幅 81.3mm のうち 40%にだけ $400\mu\text{m}$ の膜厚で塗布する場合について解析を行う。

3. 解析結果

Fig.2 は、円筒面に働く力 (Load) と入口・出口側の潤滑油界面位置 (Meniscus position) の時間変化を示す。計算当初、 120msec まではスクイーズ過程で、潤滑油が入口・出口側で同様に濡れ広がるにに合わせて界面位置が外側に移動する。その後のせん断過程では、入口側隙間には油が流入し滞留するため、入口側界面はさらに外側 (上流方向) に移動する。出口側界面は、せん断開始後から徐々に後退し中心側に移動し、潤滑油量に関わらず ($1200\sim 400\mu\text{m}$) ほぼ同じ箇所に落ちつく。 $400\mu\text{m}$ の膜厚で全幅の 40%にだけ塗布される場合は、入口・出口側界面の位置がともに中心で一致する時間帯がある。これは油膜が破断し、隙間に油がないことを意味する。Fig.2 右上のスナップショット (1073msec) からわかるように、破断直前には液体架橋があるのみで、荷重は負の値にある。Fig.3 右側図の点線 (1073msec) から負の圧力分布のみであることがわかる。この後、液体架橋が隙間を通り過ぎていく間、周期境界条件により厚膜部が 1 口側から流入するまでは、荷重はゼロである。隙間に油がある瞬間 (882msec) も、正負の圧力分布が拮抗しており、潤滑油量が多い場合と比較して荷重が小さい。

謝辞

この研究の一部は、TRAMI, NSK メカトロニクス技術高度化財団および科研費 20K04236 による研究助成を受けて行われました。ここに記して謝意を表します。

文献

- 1) 田中・岩本: 流体潤滑の数値計算への粒子法適用の試み, トライボロジー会議予稿集(東京) (2016) 110-111.
- 2) 田中: 粒子法を用いた流体潤滑の数値計算～入口側油膜形状と流動形態～, トライボロジー会議予稿集(東京) (2024) 340-341.
- 3) 田中: 孤立液滴の表面張力振動に基づく液体物性の評価, トライボロジー会議予稿集(福

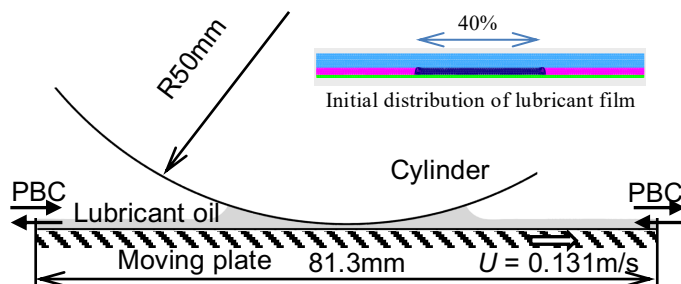


Fig. 1 Model geometry and operating condition

井)(2022) C9.

- 4) K. Tanaka & K. Iwamoto : Numerical Simulation of Hydrodynamic Lubrication by SPH method -Oil Film Profile at Inlet -, World Tribology Congress 2021, THU-T1-S11-R4 (2022).
- 5) V. Bruyere, et al. : A two-phase flow approach for the outlet of lubricated line contacts. ASME J. Tribol. 134, 041503:1-041503:10 (2012)
- 6) L. Floberg : On Hydrodynamic Lubrication with Special Reference to Sub- cavity Pressures and Number of Streamers in Cavitation Regions. Royal Swedish Acad. of Engineering Sciences Acta Poly. Scan Mech. Eng. 19, 3-35 (1965)

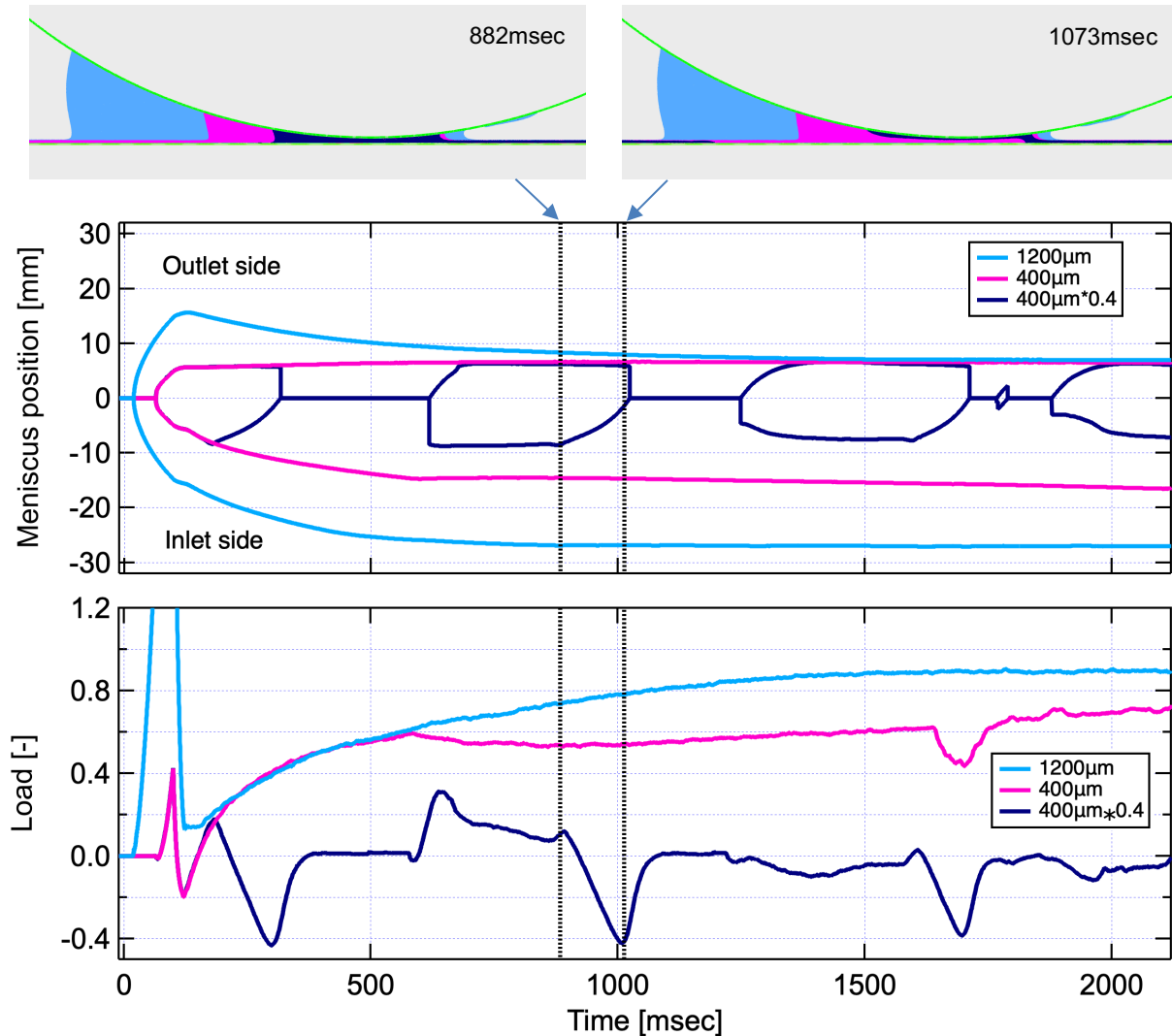


Fig. 2 Time evolution of inlet and outlet meniscus boundary and load, the two snapshots represent the lubricant film profile with different initial film thickness at different time.

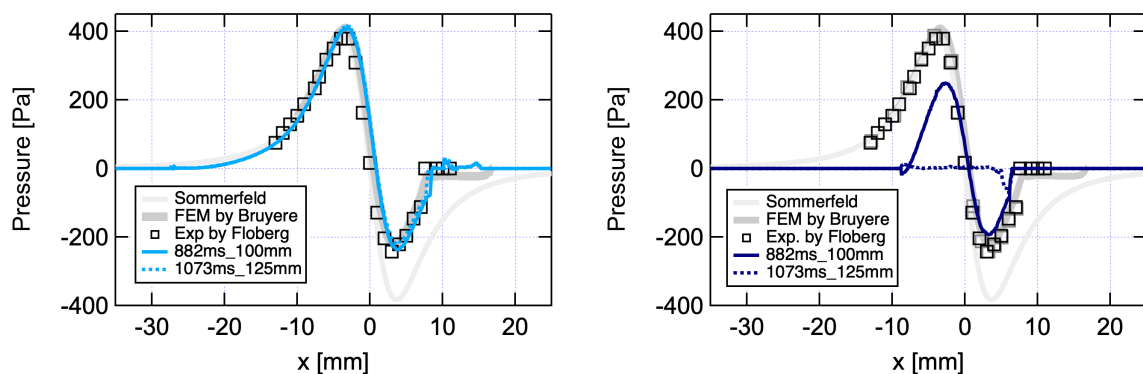


Fig. 3 Pressure profile at different time with initial film thickness of (left) 1200μm (right) 400μm*0.4